

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для самостійної роботи
та виконання розрахунково-графічних і практичних завдань
з курсу

«КАБЕЛЬНІ ТА ПОВІТРЯНІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ»

*(для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання бакалаврів напрямку
підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології
і слухачів другої вищої освіти спеціальності
7.05070103 – Електротехнічні системи електроспоживання)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2016

Методичні вказівки для самостійної роботи та виконання розрахунково-графічних і практичних завдань з курсу «Кабельні та повітряні лінії електропередачі» (для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання бакалаврів напряму підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології і слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.05070103 – Електротехнічні системи електроспоживання) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Є. Д. Дьяков, В. Г. Воропай. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 36 с.

Укладачі: канд. техн. наук Є. Д. Дьяков,
В. Г. Воропай

Рецензент: В. М. Охріменко, кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою систем електропостачання та електроспоживання міст, протокол № 4 від 17.10.2016 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1 Схеми заміщення повітряних і кабельних ліній...	4
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2 Розрахунок параметрів круглої струмопровідної жили силового кабелю.....	10
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3 Розрахунок параметрів секторної струмопровід- ної жили силового кабелю.....	19
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4 Визначення втрат напруги в електричних мережах.....	22
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5 Вибір перетинів струмопровідних жил кабелів і проводів	29
ДОДАТОК.....	33
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	35

ВСТУП

У методичних вказівках представлені розрахунково-практичні заняття з дисципліни «Кабельні та повітряні лінії електропередачі». Кожне заняття містить:

- мету заняття;
- пояснення до заняття;
- завдання для самостійної роботи студентів;
- контрольні питання.

В ході виконання практичних завдань студенти повинні вивчити: основні електричні та конструктивні параметри, які мають кабельні та повітряні лінії електропередачі, а також методику їх розрахунку. Довідкові матеріали, які доцільно використовувати при виконанні контрольних завдань, наведені в додатку А.

Теоретичні положення, що наведені в методичних вказівках, охоплюють той мінімальний обсяг матеріалу, який необхідний для підготовки до практичних занять.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

Схеми заміщення повітряних і кабельних ліній

Мета заняття: набуття практичних навичок розрахунку параметрів схем заміщення повітряних і кабельних ліній

1.1 Теоретичні положення

Для спрощення розрахунків параметрів ліній електропередачі, які представляють собою коло з рівномірно розподіленими параметрами, використовують Т– і П– образні схеми заміщення лінії з зосередженими параметрами. Повітряні лінії (ПЛ) довжиною до 300 км і кабельні лінії (КЛ) до 50 км зазвичай представляються П– подібною схемою заміщення, яка наведена на рисунку 1.1.

У зв'язку з тим, що довжини ліній електропередачі різні, використовуються поняття погонних параметрів, тобто параметрів приведення до одиниць довжини лінії.

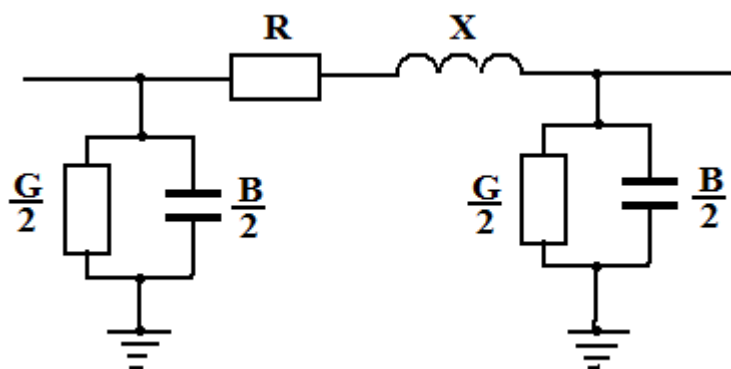


Рисунок 1.1 – П-подібна схема заміщення лінії електропередачі

Схема заміщення складається з поздовжньої гілки і двох поперечних гілок. Відповідно до цього розрізняють поздовжні і поперечні параметри лінії.

До поздовжніх параметрів належать активний R і індуктивний X опір однієї фази лінії, до поперечних – активна G і ємкісна B провідності між фазою і землею.

Розрізняють два види електричного опору: активний і омичний. Активний опір – це опір змінному струму, омичний – постійному струму. Внаслідок поверхневого ефекту, пов'язаного з витісненням струму до поверхні провідника, активний опір більше омичного. Однак для промислової частоти 50 Гц ця відмінність не перевищує 0,5 % і тому при проведенні розрахунків нею зневажають.

При температурі 20 °С питомий опір алюмінієвих (сталеалюмінієвих) проводів дорівнює 28,8 Ом мм² / км, мідних – 18,0 Ом мм² / км.

Опір проводів при температурах відмінних від 20 °С визначається за формулою

$$R_o = R[1 + \alpha(T - 20)], \quad (1.1)$$

де α – температурний коефіцієнт зміни опору; для алюмінієві і мідних проводів = 0,004 1 / °С;

R – опір провідника при 20°С;

T – фактична температура.

Активний опір проводу фази ЛЕП довжиною L км дорівнює

$$R = r_o \cdot L, \quad (1.2)$$

де r_o – погоний опір (Ом / км);

L – довжина лінії, км.

Величини погонних активних опорів для проводів різного перерізу різних провідникових матеріалів наведені в довідковій літературі [1].

Якщо фаза має розщеплення на n проводів одного перерізу, то

$$R = \frac{r_0 L}{n} \quad (1.3)$$

Індуктивний опір проводу однієї фази трифазної ПЛ визначається результируючою е.р.с. який складається з е.р.с. самоіндукції, що наводиться в проводі при протіканні електричного струму і е.р.с. взаємоіндукції від проводів двох інших фаз.

При симетричному розташуванні проводів, наприклад, у вершинах рівностороннього трикутника, індуктивні опори фаз будуть однакові внаслідок рівності е.р.с. взаємоіндукції.

При несиметричному розташуванні проводів, наприклад, в одній площині, е.р.с. взаємоіндукції середнього проводу відрізняється від е.р.с. взаємоіндукції проводів крайніх фаз. Відповідно відрізняються і їх індуктивні опори.

У двоколових ПЛ взаємний вплив одного кола на індуктивний опір іншого кола становить 5-6 % і, як правило, під час виконання інженерних розрахунків не враховується.

Для мідних і алюмінієвих проводів погонний індуктивний опір однієї фази ПЛ визначається як середнє значення опорів фаз за формулою

$$x_o = \omega L_o = \frac{\omega \mu_o}{2\pi} \left(\ln \frac{2D_{cp}}{d_{np}} + \frac{\mu}{4} \right) = 0,1441 \lg(D_{cp} / R_{np}) + 0,0157, \quad (1.4)$$

де L_o – погонна еквівалентна індуктивність фази, Гн / км;

$\omega = 2\pi f$ – кругова частота змінного струму, рад / с;

f – частота змінного струму, $f = 50$ Гц;

μ_o – магнітна постійна, $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-4}$ Гн / км;

R_{np} – радіус проводу;

d_{np} – діаметр проводу;

D_{cp} – середньгеометрична відстань між проводами фаз A, B, C , м.

При їх довільному розташуванні

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D_{AB} D_{AC} D_{BC}} \quad (1.5)$$

Реактивний опір фази ПЛ довжиною L км:

$$X = x_o \cdot L \quad (1.6)$$

Погонні індуктивні опори різних ПЛ високої напруги незначно відрізняються між собою і знаходяться в межах 0,38 ... 0,44 Ом / км. У зв'язку з цим при інженерних розрахунках ПЛ x_o приймається рівним 0,4 Ом / км.

При розщепленні фази ПЛ на n проводів

$$x_o = 0,144 \cdot \lg \frac{2D_{cp}}{d_{екв}} + \frac{0,0157}{n}, \text{ Ом / км}, \quad (1.7)$$

де $d_{екв}$ – еквівалентний діаметр фази;

$$d_{екв} = \sqrt[n]{2^{n-1} \cdot d \cdot \prod_{i=2}^n a_{1i}} \quad (1.8)$$

a_{1i} – відстань між першим проводом і іншими проводами у фазі.

Середнє значення x_o для ПЛ з розщепленої фазою дорівнює 0,3 Ом / км[2].

Активна провідність G ліній електропередачі обумовлена струмами витоку через ізоляцію і іонізацією повітря навколо проводів. Ці два процеса викликають додаткові втрати активної енергії.

Струми витоку через ізоляцію силових кабелів при напрузі 220 кВ і вище значно перевищують струми витоку в повітряних лініях, якими, як правило, зневажають.

Втрати активної потужності, які викликані процесом іонізації повітря при високих значеннях напруженості електричного поля ($E_{кр}=17 - 19$ кВ/см), супроводжуються виникненням коронного розряду. Погонні значення втрат на корону ΔP_o наводяться в довідниках, наприклад, в [1]. Для наближеної оцінки втрат на корону при розташуванні проводів повітряної лінії у вершинах рівностороннього трикутника використовують, як правило, емпіричні залежності.

$$\Delta P_{кор} = \frac{0,18}{\delta} \sqrt{\frac{r_{np}}{D_{cp}}} (U_{\phi} - U_{кр}) \quad \text{кВт/км}, \quad (1.9)$$

де δ – коефіцієнт, що враховує барометричний тиск і температуру (при $t = 25^\circ\text{C}$ $\delta = 1$),

$U_{кр}$ – критична фазна напруга.

$$U_{кр} = 48,9 m_o \cdot m_n \cdot \delta \cdot r_{np} \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r_{np}}, \quad (1.10)$$

де m_o – коефіцієнт, що враховує стан поверхні проводу (для багатодротових проводів 0,83-0,87); m_n – коефіцієнт, що враховує стан погоди: при сухій погоді $m_n = 1$, при поганій погоді (туман, дощ, іній, сніг) $m_n = 0,8$.

Якщо проводи ПЛ розташовані у одній площині, то корона в середньому проводі з'являється при фазній напрузі на 4 % менше, а на крайніх проводах на 6 % більше значення критичної напруги.

Погонна активна провідність повітряної лінії дорівнює

$$g_o = \Delta P_{кор} / U_{ном}^2 \quad \text{См/км}. \quad (1.11)$$

У силових кабелях активна провідність зумовлена втратою активної потужності, яка визначається тільки наявністю активної складової витоку струму через ізоляцію. Погонна активна провідність кабельної лінії розраховується за формулою:

$$g_o = \Delta P' / U_{ном}^2, \quad (1.12)$$

де $\Delta P'$ – втрати активної потужності в ізоляції

$$\Delta P' = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \text{tg} \delta \quad \text{Вт/км}, \quad (1.13)$$

де C – погонна ємність кабелю (Ф/км);

$\text{tg} \delta$ – тангенс кута діелектричних втрат в ізоляції при фазній напрузі.

Повна активна провідність лінії

$$G = g_o \cdot L. \quad (1.14)$$

Для визначення погонної ємності проводу транспонованої трифазної повітряної лінії використовується формула:

$$c = \frac{0.0241}{\lg \frac{D_{cp}}{r_{np}}} \cdot 10^{-6} \text{ Ф/км} . \quad (1.15)$$

Погонна ємнісна провідність дорівнює

$$b_o = \omega \cdot c \cdot \frac{7.58}{\lg \frac{D_{cp}}{r_{np}}} \cdot 10^{-6} \text{ СМ/км} . \quad (1.16)$$

Наявність ємнісної провідності у лініях приводить до утворення зарядних струмів і реактивної потужності, що генерується лінією

$$Q = U^2 \cdot b_o \cdot L \text{ Мвар} \quad (1.17)$$

1.2 Варіанти завдань для самостійної роботи студентів

Завдання 1. Скласти схему заміщення повітряної лінії електропередачі і визначити її параметри. Лінія електропередачі напругою U виконана проводом АС довжиною l км. Підвіска проводів горизонтальна, відстань між проводами d м. В лінії здійснена транспозиція проводів. Вихідні дані лінії наведені у таблиці 1.2. При виконанні завдання питомий опір проводу прийняти рівним $\rho = 31,5 \text{ Ом мм}^2 / \text{км}$.

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань і вихідні дані

Варіанти завдань	Марка проводу	U, кВ	l , км	d , м
1	2	3	4	5
1	АС – 70	110	20	3,0
2	АС – 95	110	25	3,0
3	АС – 120	110	35	3,5
4	АС – 150	110	45	3,5
5	АС – 185	110	70	3,5
6	АС – 240	110	90	3,5
7	АС – 150	150	40	4,0
8	АС – 185	150	50	4,0
9	АС – 240	150	70	4,0
10	АС – 240	150	80	4,0
11	АС – 185	150	90	4,0

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
12	АС – 240	150	100	4,0
13	АС – 240	220	150	5,0
14	АС – 300	220	120	5,0
15	АС – 300	220	100	5,0
16	АС – 300	220	130	5,0
17	АС – 240	220	110	5,0
18	АС – 240	150	120	4,0
19	АС – 185	150	85	4,0
20	АС – 150	150	55	4,0
21	АС – 120	150	35	4,0
22	АС – 240	110	80	3,5
23	АС – 185	110	60	3,5
24	АС – 150	110	40	3,0
25	АС – 120	110	30	3,0

1.3 Контрольні запитання

1. Наведіть схему заміщення лінії електропередачі у загальному вигляді.
2. Перелічіть поздовжні і поперечні параметри лінії електропередачі.
3. Поясніть термін «погонний параметр лінії».
4. Наведіть формулу для визначення середньгеометричної відстані між проводами.
5. Поясніть з якою метою виконується розщеплення проводів у повітряних лініях електропередачі.
6. Назвіть фізичне явище, яке відображає наявність у схемі заміщення лінії електропередачі індуктивного опору.
7. Поясніть з якою метою виконується транспозиція проводів.

Література: [1, 2.]

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

Розрахунок параметрів круглої струмопровідної жили силового кабелю

Мета заняття: набуття практичних навичок розрахунку основних параметрів круглої струмопровідної жили силового кабелю.

2.1 Теоретичні положення

Круглі струмопровідні жили силових кабелів виготовляються однодротовими і багатодротовими. Дроти, з яких виготовляється багатодротова жила спочатку скручуються, ізолюються, а потім ізольовані жили скручуються у кабель. Така технологія виготовлення дозволяє надати кабельному виробу стійку форму та гнучкість. Залежно від кількості дротів у струмоведучих жилах розрізняють шість класів гнучкості (табл. А1 Додатку).

Застосовується дві системи скручування струмоведучих жил: повівна (правильна) і пучкова (шнурова). При повівній скрутці центральний дріт вважається за перший повів. Розрізняють ліву скрутку або S-скрутку (рис. 2.1, а) і праву скрутку або Z-скрутку (рис. 2.1, б)

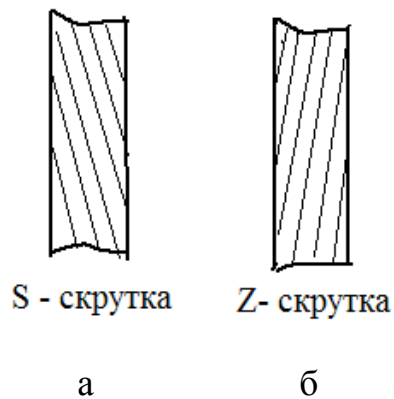


Рисунок 2.1 – Напрямок скрутки: а – лівий, б – правий

Скручування може бути односпрямованим і різноспрямованим. Різноспрямовану скрутку застосовують тільки при скручуванні пучків. При цьому пучок по черзі скручується то в праву, то в ліву сторону. Різновидом різноспрямованого скручування є хвильове скручування, при якому напрямок скрутки змінюється менш ніж за один крок скрутки, тобто менш ніж за один оберт.

Струмопровідні жили з чергуючимся напрямком скрутки менш гнучкі, ніж жили одного напрямку скручування, але при розтягуванні не втрачають круглої форми і незначно розтягуються.

Діаметр жили при пучковій скрутці може бути визначений приблизно за емпіричною формулою

$$d_{жс} = 1,19d\sqrt{N} \quad , \quad (2.1)$$

де N – число дротів; d – діаметр дроту.

Повівне або правильне скручування може бути нормальним, коли для виготовлення жили використовуються дроти однакового діаметра і комбінованим, коли дроти у повіях мають різний діаметр. Різновидом правильного скручування є стренгове (складне) скручування. При цій скрутці окремі дроти скручуються у стренги, як при повівної скрутці, а потім стренги скручуються у жилу, причому дроти у стренгах мають один напрямок скрутки, а стренги в жилі інший. Так скручування підвищує стійкість струмоведучих жил до розтягуючих зусиль.

В Україні, як і в більшості європейських країн, прийнята метрична система одиниць. Відповідно до рекомендації МЕК побудован ряд перерізів струмопровідних жил. Відношення перерізу дроту будь-якого розміру до перерізу дроту іншого розміру має дорівнювати $\sqrt[10]{10} \approx 1,25$. Відповідно до цих рекомендацій в Україні використовується наступний ряд номінальних перерізів струмопровідних жил силових кабелів: 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 625; 800; 1000 мм².

Рекомендації МЕК не поширюються на неізольовані дроти ЛЕП, кабелі та проводи зв'язку та обмотувальні дроти, у яких геометричні розміри визначаються виходячи з електричних параметрів.

Номінальний ряд перерізів для мідних і алюмінієвих проводів ЛЕП складається з: 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 350; 400; 450; 500; 550 600; 650; 700; 750; 800 мм².

Переріз сталєалюмінієвих проводів вказується дробом. У чисельнику переріз алюмінію, у знаменнику – переріз сталі: 95/16; 150/34; 450/56; 600/72.

При конструюванні багатодротової жили визначається коефіцієнт заповнення жили, який чисельно дорівнює відношенню суми перерізів всіх дротів жили до площі кола, описаного навколо скрученої жили.

$$f = \frac{\sum S_{np}}{S_{ж}} = \frac{N \cdot S_{np}}{S_{ж}} = N \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{4}{\pi \cdot d_{ж}^2} = N \cdot \frac{d^2}{d_{ж}^2}, \quad (2.2)$$

де S_{np} – площа поперечного перерізу дроту; $S_{ж}$ – площа поперечного перерізу жили; N – число дротів; d – діаметр дроту; $d_{ж}$ – діаметр жили.

Формула (2.2) справедлива, коли всі дроти мають один діаметр. Якщо жила скручена зі стренг, то коефіцієнт заповнення жили дорівнює

$$f = f_1 \cdot f_2, \quad (2.3)$$

де f_1 – коефіцієнт заповнення стренги; f_2 – коефіцієнт заповнення жили стренгами.

Коефіцієнт заповнення скручених жил знаходиться в межах 0,71-0,76. Підвищити цей коефіцієнт можна при обтиску жил на спеціальних вальцах. При ущільненні зменшується діаметр жили, відповідно зменшується витрата ізоляційних матеріалів і матеріалів на оболонку. Ущільнення також сприятливо впливає на розподіл напруженості електричного поля в ізоляції. Однак при ущільненні відбувається зменшення електропровідності жили, приблизно на 0,8%.

У багатодротовій скрученій жилі дроти розташовуються з певним кроком скрутки і під певним кутом скручування.

Кроком скрутки називається відстань, яка вимірюється вздовж осі жили і відповідає одному оберту дроту вздовж осі жили.

Кутом скручування називається кут між дротом у жилі та площиною, перпендикулярній осі жили.

Розглянемо методику визначення основних параметрів круглої струмоведучої жили [3]. На рисунку 2.2 наведено виток багатодротової жили і параметри, які його характеризують:

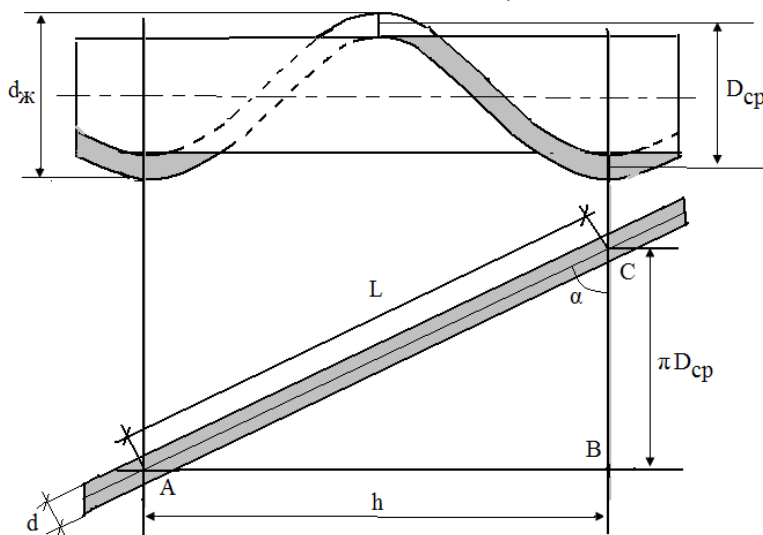


Рисунок 2.2 – Розгортка витка дроту

h – крок скручування; α – кут скручування; L – довжина витка дроту;

d – діаметр проводу; $d_{\text{ж}}$ – діаметр жили; $D_{\text{ср}}$ – середній діаметр

Використовуючи параметри, які наведені на рисунку 2.2, визначимо крок скрутки

$$h = \pi \cdot D_{\text{cp}} \cdot \operatorname{tg} \alpha . \quad (2.4)$$

Позначимо $\pi \cdot \operatorname{tg} \alpha = m_T$, тоді

$$h = m_T \cdot D_{\text{cp}} , \quad (2.5)$$

де m_T – теоретична кратність кроку скручування. Цей параметр вказує у скільки разів крок скрутки h більше середнього діаметра D_{cp} .

Визначимо довжину витка

$$L = \sqrt{h^2 + \pi^2 D_{\text{cp}}^2} = h \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2 D_{\text{cp}}^2}{h^2}} = h \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{m_T^2}} = h \cdot k_y , \quad (2.6)$$

де $k_y = \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{m_T^2}}$ – коефіцієнт укрутки. Цей параметр вказує у скільки разів

довжина дроту (L) більше кроку скручування (h).

Перетворимо вираз для k_y , використовуючи формулу розкладання у ряд

$$\sqrt{1+x} = 1 + \frac{1}{2}x + \frac{1}{8}x^2 + \dots$$

Після перетворення отримаємо

$$k_y = \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{m_T^2}} = 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi^2}{m_T^2} . \quad (2.7)$$

Дану формулу доцільно використовувати при великих кутах скручування.

Якщо жила має кілька повівів, то коефіцієнт укрутки дорівнює

$$k_y = \frac{n_1 \cdot k_1 + n_2 \cdot k_2 + \dots}{n_1 + n_2 + \dots} , \quad (2.8)$$

де n_1, n_2 – номери повівів; k_1, k_2 – коефіцієнти укрутки відповідних повівів.

Кількість дротів, на яке кожен повів буде відрізнятись від попереднього, можна визначити розглянувши рисунок 2.3.

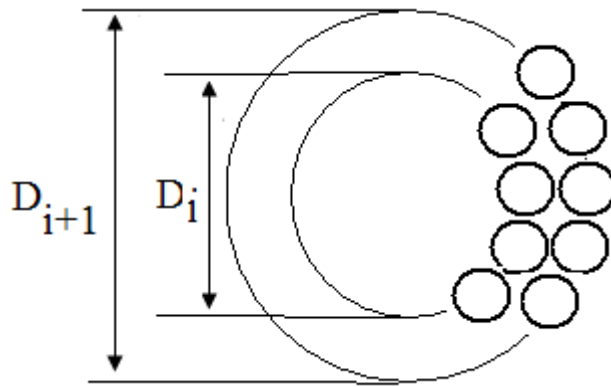


Рисунок 2.3 – Розташування дротів у сусідніх повіях

Маємо два повія із середніми діаметрами D_i і D_{i+1} . Довжина кола i -го повію дорівнює $L_i = \pi D_i$, а $(i + 1)$ -го повію відповідно $L_{i+1} = \pi (D_i + 2d)$, де d – діаметр дроту. Різниця довжин кіл складе

$$\Delta L = L_{i+1} - L_i = \pi(D_i + 2d) - \pi D_i = 2\pi d . \quad (2.9)$$

Розділивши ΔL на d визначимо кількість дротів, на яке збільшується кожний наступний повів: $2\pi d / d = 2\pi = 6,28$. Так як кількість дротів повинно бути цілим числом, приймаємо різницю в кількості дротів у сусідніх повіях рівним шести.

Існує кілька конструкцій нормального правильного скручування струмоведучих жил. Один з варіантів системи правильного скручування 1-6-12-18 з одним центральним дротом наведено на рисунку 2.4.

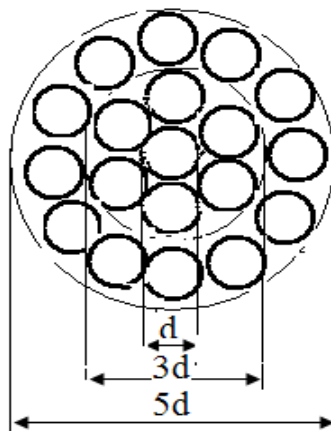


Рисунок 2.4 – Система скручування 1-6-12-18

Як видно з рисунку діаметр першого повіу d , другого повіу – $3d$, третього повіу – $5d$. Отже, діаметр жили можна визначити за формулою

$$d_{\text{ж}} = (2n - 1)d, \quad (2.10)$$

де n – номер повіу; d – діаметр дроту.

Використовуючи формули арифметичної прогресії, визначимо кількість дротів у струмоведучій жилі

$$N = \frac{a_1 + a_n}{2} \cdot n; \quad a_n = a_1 + \Delta a(n - 1), \quad (2.11)$$

де N – загальне число дротів; a_1 – перший член прогресії; a_n – останній член прогресії; Δa – різниця прогресії; n – число членів прогресії.

У зв'язку з тим, що другий повів відрізняється від першого на п'ять дротів формули арифметичної прогресії будемо застосовувати починаючи з другого повіу. Число дротів у останньому повіу дорівнює

$$a_n = 6 + 6(n - 1 - 1) \quad (2.12)$$

Друга одиниця в дужках вказує, що розрахунок проводиться з другого повіу.

Загальна кількість дротів у жилі дорівнює

$$N = \frac{a_1 + a_n}{2} (n - 1) = \frac{6 + 6 + 6(n - 2)}{2} (n - 1) = 3n \cdot (n - 1) \quad (2.13)$$

З урахуванням центрального дроту формула 2.13 набуде вигляду

$$N = 3n(n - 1) + 1 \quad (2.14)$$

Коефіцієнт заповнення жили з такою скруткою дорівнює

$$f = N \frac{d_{\text{пр}}^2}{d_{\text{ж}}^2} = \frac{[3n(n - 1) + 1] d_{\text{пр}}^2}{[(2n - 1)d_{\text{ж}}]^2} = \frac{[3n(n - 1) + 1]}{[(2n - 1)]^2} \quad (2.15)$$

Дана методика використовується і для визначення основних параметрів жил, що містять два і більше дротів у центрі жили. У таблиці 2 Додатку наведені формули для розрахунку параметрів жил, які містять різну кількість дротів в центрі жили.

Розрахунок основних параметрів круглої жили правильної скрутки проводиться у наступній послідовності:

- для заданої площі поперечного перерізу і системи скручування вибирається кількість повівів;
- визначається кількість дротів у струмоведучій жилі за формулою (2.13);
- розраховується переріз одного дроту $s_{\text{пр}} = S_0 / N$;
- визначається діаметр дроту $d_{\text{іо}} = \sqrt{\frac{4s_{\text{іо}}}{\pi}}$;
- розраховується діаметр скрученої жили за формулою (2.10);
- визначається коефіцієнт заповнення за формулою (2.15);
- обчислюється діаметр по кожному повіву $D = (2n - 1)d_{\text{пр}}$;
- визначається середній діаметр по кожному повіву $D_{\text{ср}} = D - d_{\text{пр}}$;
- розраховуються кроки скручування кожного повіву за формулою (2.5);
- визначається коефіцієнт укрутки кожного повіву за формулою (2.7);
- обчислюється загальний коефіцієнт укрутки за формулою (2.8).

2.2 Варіанти завдань для самостійної роботи студентів

Завдання2 : Розрахувати основні параметри круглої струмоведучої жили. При розрахунках вважати, що всі дроти мають однаковий діаметр. Вихідні дані жили наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Варіанти завдань і вихідні дані

Номер варіанта	Площа поперечного перерізу	Система скручування
1	2	3
1	16	1+6+12+
2	25	1+6+12+
3	35	1+6+12+
4	50	1+6+12+
5	70	1+6+12+
6	95	1+6+12+
7	120	1+6+12+
8	150	2+8+14+

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
9	185	2+8+14+
10	240	3+9+15+
11	300	3+9+15+
12	400	3+9+15+
13	500	3+9+15+
14	625	4+10+16+
15	800	4+10+16+
16	1000	4+10+16+
17	1000	5+11+17+
18	800	5+11+17+
19	625	3+9+15+
20	500	4+10+16+
21	400	2+8+14+
22	300	2+8+14+
23	240	1+6+12+
24	185	1+6+12+
25	150	1+6+12+

2.3 Контрольні запитання

1. Перелічіть основні параметри круглої струмоведучої жили.
2. Наведіть формулу для визначення діаметру жили при пучковій скрутці.
3. Перелічіть ряд номінальних перетинів струмопровідних жил силових кабелів.
4. Поясніть, термін «коефіцієнт заповнення скручених жил» та вкажіть у яких межах він знаходиться.
5. Поясніть з якою метою виконується стренгове скручування.
6. Наведіть формулу для визначення кроку скрутки.
7. Поясніть з якою метою струмопровідні жили виконуються з чергуючимся напрямком скрутки.

Література: [3]

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

Розрахунок параметрів секторної струмопровідної жили силового кабелю

Мета заняття: набуття практичних навичок розрахунку основних параметрів секторної струмопровідної жили силового кабелю.

3.1 Теоретичні положення

Застосування секторних і сегментних жил замість круглих призводить до зменшення діаметра кабелю на 20–25 % і відповідно до скорочення витрат матеріалів на ізоляцію, оболонку й захисні покрови. Основні геометричні розміри секторної жили показані на рисунку 3.1.

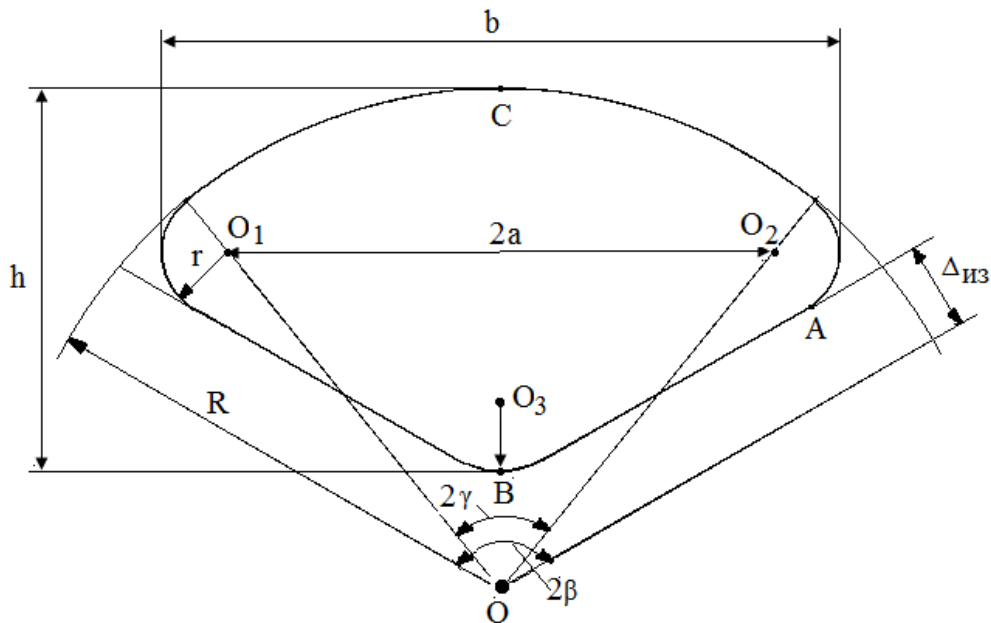


Рисунок 3.1 – Секторна жила

b – ширина сектору; h – висота сектору; $\Delta_{из}$ – товщина ізоляції; R – радіус сектору; r – радіус закруглення; $2\beta = 2\pi/3$ – кут для трьох секторів; 2γ – кут, що розраховується

Площу суцільної секторної жили визначають підсумовуючи площі окремих елементарних геометричних фігур на які розбивають сектор [3].

Загальна площа секторної струмопровідної жили дорівнює

$$S = (R^2 - r^2) \left(\gamma - \frac{1}{2} \sin 2\gamma \right) + 2a \cdot r \left(\cos \gamma + \frac{1}{\sin \beta} \right) + a^2 \operatorname{ctg} \beta + \pi \cdot r^2. \quad (3.1)$$

Основні геометричні розміри визначають за формулами:

$$a = (R - r) \cdot \sin \gamma; \quad (3.2)$$

$$\gamma = \beta - \arcsin \frac{r + \Delta_{uz}}{R - r}; \quad (3.3)$$

$$b = 2(a + r) = 2[(R - r) \sin \gamma + r]; \quad (3.4)$$

$$h = R - \frac{r + \Delta_{uz}}{\sin \beta} + r. \quad (3.5)$$

Розрахунок геометричних параметрів секторної жили проводиться у наступній послідовності:

- для заданої площі поперечного перерізу S вибирається радіус закруглення сектора r і товщина ізоляції $\Delta_{із}$;
- визначається наближене значення $R = \sqrt{S}$;
- обчислюється кут γ за формулою (3.3);
- визначається параметр a за формулою (3.2);
- переріз секторної жили S_p визначається за формулою (3.1);
- проводиться порівняння розрахованого значення перерізу з заданим. Якщо розраховане значення перерізу S_p менше заданого S , дещо збільшується R і повторно виконують розрахунок, починаючи з п.3. Розрахунок виконується до тих пір, поки S_p не досягне значення S ;
- визначається висота h і ширина сектора b .

Геометричні параметри секторної жили впливають на величину напруженості електричного поля в фазній і поясній ізоляціях силового кабелю. Отримане значення напруженості поля не повинно перевищувати допустимої величини напруженості для даного типу ізоляції.

Напруженість електричного поля в кабелі з секторними жилами, як правило, визначається у трьох точках a , b , c (рис. 3.2).

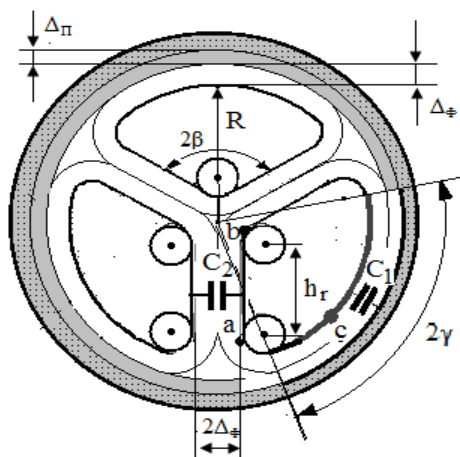


Рисунок 3.2 – Силовий кабель з секторними жилами

У точці **a** напруженість поля приблизно дорівнює напруженості між двома круглими проводами. Визначити її можна за формулою [3].

$$E_a = \frac{U_n \sqrt{\frac{N+1}{N-1}}}{2r_1 \ln(N + \sqrt{N^2 - 1})}, \quad (3.6)$$

$$\text{де } N = \frac{r_1 + \Delta_\phi}{r_1}.$$

У точці **b** напруженість поля визначається як напруженість між трьома круглими проводами

$$E_b = \frac{U_\phi}{r_1 \cdot \ln \frac{1,15r_2}{r_1}}, \quad (3.7)$$

$$\text{де } r_2 = r_1 + \Delta_\phi.$$

У точці **c** напруженість поля дорівнює

$$E_c = \frac{U_\phi}{R \cdot \ln \frac{R + \Delta_\phi + \Delta_n}{R}}, \quad (3.8)$$

де Δ_ϕ – товщина фазної ізоляції; Δ_n – товщина поясної ізоляції.

3.2 Варіанти завдань для самостійної роботи студентів

Завдання 3 : Розрахувати основні геометричні параметри секторної жили та величини напруженості електричного поля в контрольних точках. Ізоляція жили виконана з просоченого паперу. Варіанти завдань наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Варіанти завдань

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Площа поперечного перерізу, мм ²	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300

3.3 Контрольні запитання

1. Перелічіть основні геометричні параметри секторної жили.
2. Поясніть які переваги має секторна жила порівняно з круглою.
3. Наведіть формули для визначення висоти h та ширини b секторної жили.
4. Вкажіть у яких точках потрібно виконувати розрахунок напруженості електричного поля у кабелях з секторними жилами.
5. Поясніть, які функції виконує поясна ізоляція у силових кабелях.
6. Поясніть, як впливають геометричні параметри секторної жили на напруженість електричного поля.
7. Наведіть формули для розрахунку напруженості електричного поля у кабелях з секторними жилами.

Література: [3]

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

Визначення втрат напруги в електричних мережах

Мета заняття: вивчення причин виникнення втрат напруги в електричних мережах і освоєння методики їх розрахунку.

4.1 Теоретичні положення

Відхилення напруги регламентується ГОСТ 1319-97 «Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення». Відповідно до цього документа відхилення напруги характеризується показником усталеного відхилення напруги для якого встановлено такі норми:

- нормально допустимі і гранично допустимі усталені відхилення напруги на виводах приймачів електричної енергії дорівнюють відповідно ± 5 і ± 10 % від номінальної напруги електричної мережі;
- нормально допустимі і гранично допустимі усталені відхилення напруги в точках загального приєднання споживачів електричної енергії до електричних мереж напругою 0,38 кВ і більше повинні бути встановлені в договорах на користуванням електричною енергією.

Визначаються відхилення напруги в характерних точках мережі. Такими точками можуть бути шини 0,4 – 0,66 кВ трансформаторних підстанцій, секції шин 6,10,35 кВ розподільних пристроїв і т.д.

Відхилення напруги в будь-якій точці x мережі в момент часу t визначається сумою всіх «добавок» і втрат напруги, вираженою у відсотках від номінального значення [4].

$$V_X = \sum_{i=1}^m E_i - \sum_{i=1}^m \Delta U_i, \quad (4.1)$$

де $\sum_{i=1}^m E_i$ – алгебраїчна сума «добавок» напруги, створювана регулюючими пристроями;

$\sum_{i=1}^m \Delta U_i$ – сума втрат напруги на всіх ділянках даного кола.

«Добавки» напруги можуть бути як позитивними так і негативними. Так, наприклад, трансформатори на підстанціях дозволяють отримувати «добавку» напруги 2,5; 5; 7,5; 10 %. «Добавка» напруги, яку дає батарея конденсаторів поперечного включення в місці її приєднання дорівнює

$$E_{\text{БК}} = \frac{X_{\text{С}} \cdot Q_{\text{БК}}}{10U^2}, \quad (4.2)$$

де X_C – опір живильної мережі, Ом; U – напруга в місці установки конденсаторної батареї, кВ; $Q_{БК}$ – потужність батареї, квар.

Втрати напруги, у відсотках, на окремих ділянках електричної мережі визначаються за формулою

$$\Delta U_L = (P \cdot R + Q \cdot X) / U_H, \quad (4.3)$$

де P і Q – активна і реактивна потужності, кВт і квар; R і X – активний і реактивний опір ділянки, Ом; U_H – номінальна напруга ділянки ланцюга, кВ.

Причиною відхилення напруги від номінального значення може бути: зміна електричного навантаження споживачів, зміна потужності джерел реактивної енергії, регулювання напруги у вузлах електричної мережі, зміна параметрів електричної мережі і т.д.

Для кожного приймача електроенергії допускаються певні втрати напруги. Навіть при підтримці протягом доби постійного значення напруги на виході силового трансформатора у зв'язку зі зміною навантаження протягом доби, змінюються і втрати напруги, які будуть досягати максимуму при максимальному навантаженні і відповідно мінімуму – при мінімальному навантаженні. Розрахунок величини даних втрат проводиться за формулами

$$\Delta U_{\text{макс}} = \frac{(P_{\text{макс}} \cdot r_o + Q_{\text{макс}} \cdot x_o) \cdot L}{U_H}, \text{ В} \quad (4.4)$$

$$\Delta U_{\text{макс}} \% = \frac{\Delta U_{\text{макс}}}{U_H} \cdot 100, \quad (4.5)$$

$$\Delta U_{\text{мин}} = \frac{(P_{\text{мин}} \cdot r_o + Q_{\text{мин}} \cdot x_o) \cdot L}{U_H}, \text{ В} \quad (4.6)$$

$$\Delta U_{\text{мин}} \% = \frac{\Delta U_{\text{мин}}}{U_H} \cdot 100. \quad (4.7)$$

Зміна характеру навантаження також може привести до зміни втрат напруги. На рисунку 4.1 наведено векторну діаграму зміни напруги на виводах силового трансформатора при індуктивному характері навантаження.

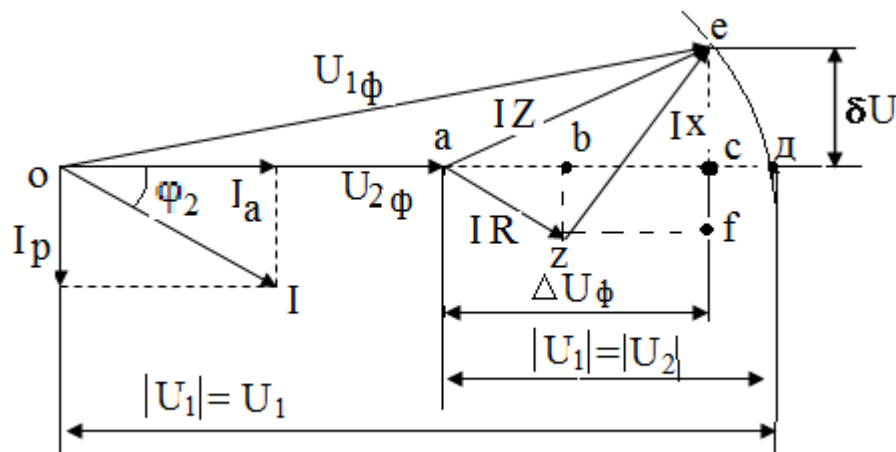


Рисунок 4.1 – Зміна напруги на вторинній обмотці трансформатора при індуктивному характері навантаження

Вектор струму I в цьому випадку, відстає від вектора напруги U_2 на кут φ .

Модуль (довжину) вектора IZ називають падінням напруги. Вектор падіння напруги складається з поздовжньої складової, спрямованої по продовженню вектора U_2 і поперечної складової, яка спрямована перпендикулярно вектору U_2 . Якщо з точки O провести дугу радіусом рівним довжині вектора U_1 до перетину з прямою в точці d , то відрізок od дорівнює модулю вектора U_1 , тобто напрузі на початку лінії.

Відрізок ad рівний арифметичній різниці $U_1 - U_2$ називається втратою напруги. У зв'язку з незначною похибкою, яку вносить в розрахунки різниця довжин відрізків ad і ac ділянкою cd нехтують і втрати напруги розраховують за довжиною відрізка ac , який складається з двох відрізків ab і bc . Оскільки, $ab = I \cdot R \cdot \cos \varphi$ а $bc = I \cdot x \cdot \sin \varphi$, то втрати напруги дорівнюватимуть

$$\Delta U = I \cdot R \cdot \cos \varphi + I \cdot x \cdot \sin \varphi \quad (4.8)$$

Якщо праву частину формули (4.8) помножити і розділити на напругу мережі, то отримаємо формулу 4.3, яка дозволяє визначати втрати напруги через потужності.

Падіння напруги представлено на рисунку 4.1 вектором **ae**, який представляє гіпотенузу прямокутного трикутника **aez**. З даного трикутника випливає, що поперечна складова вектора падіння напруги **ec** дорівнює $ec = ef - cf$;

$$cf = bz = I \cdot R \cdot \sin \varphi; \quad ef = I \cdot x \cdot \cos \varphi \quad ec = I \cdot x \cdot \cos \varphi - I \cdot R \cdot \sin \varphi$$

Після перетворення поперечна складова падіння напруги дорівнює

$$\delta U = (P \cdot x - Q \cdot R) / U_n \quad (4.9)$$

Таким чином, втрати і падіння напруги відрізняються не тільки за величиною, а й за напрямком. Втрати напруги визначаються в результаті арифметичного віднімання векторів (U_2 з U_1), а падіння напруги – в результаті геометричного відрахування цих векторів.

При визначенні втрати напруги в мережі з різною напругою слід їх параметри привести до одного – базисного:

$$R_{\bar{o}} = R(U_{\bar{o}}/U_n)^2; \quad X_{\bar{o}} = X(U_{\bar{o}}/U_n)^2; \quad U_{\bar{o}} = U(U_{\bar{o}}/U_n)^2, \quad (4.10)$$

де U_n – номінальна напруга ділянки.

Для ліній з двостороннім живленням спочатку визначається точка потокорозподілу, в якій мережа умовно розбивається на дві радіальні лінії, і тоді розрахунок втрат напруги виконується по вище приведених формулах. Наприклад, для схеми наведеної на рисунку 4.2 для визначення точки потокорозподілу спочатку визначаються потужності на головних ділянках.

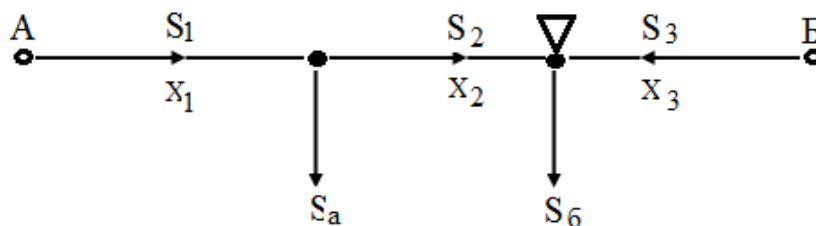


Рисунок 4.2 – Замкнута мережа з двостороннім живленням

$$\text{При } U_a = U_{\bar{o}} \quad S_1 = \frac{S_a(X_2 + X_3) + S_6 X_3}{X_1 + X_2 + X_3}; \quad S_3 = \frac{S_a X_1 + S_6(X_1 + X_2)}{X_1 + X_2 + X_3} \quad (4.11)$$

$$\text{При } U_a \neq U_{\bar{o}} \quad S_1 = U_a \frac{U_A - U_B}{X_1 + X_2 + X_3} + \frac{S_a(X_2 + X_3) + S_6 X_3}{X_1 + X_2 + X_3};$$

$$S_3 = U_B \frac{U_B - U_A}{X_1 + X_2 + X_3} + \frac{S_a X_1 + S_o (X_1 + X_2)}{X_1 + X_2 + X_3} \quad (4.12)$$

Найбільші втрати напруги будуть до точки поточкорозподілу

$$\Delta U = (P_1 R_1 + Q_1 X_1 + P_2 R_2 + Q_2 X_2) / U_n = (P_3 R_3 + Q_3 X_3) / U_n \quad (4.13)$$

Для розрахунку втрат напруги в магістральних лініях застосовується формула [5]

$$\Delta U\% = \frac{100}{U^2 \cdot \cos \varphi} \left(r_n \cdot \cos \varphi + x_n \cdot \sin \varphi \right) \cdot \sum_{i=1}^n P \cdot L \quad (4.14)$$

де r_n і x_n – погонний активний і індуктивний опір лінії;

P – активна потужність приймачів;

L – відстань і-го приймача до центру живлення.

4.2 Варіанти завдань для самостійної роботи студентів

Завдання 4.1 Визначте необхідну величину напруги на початку кабельної лінії, що містить силовий кабель з алюмінієвими жилами перерізом S , довжиною L , в кінці якої включене симетричне зосереджене трьохфазне навантаження, щоб напруга в кінці лінії підтримувалась на необхідному рівні. Параметри кабельної лінії наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Варіанти завдань

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Площа поперечного перерізу, мм ²	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
Довжина, км	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Задана активна потужність, кВт	55	60	65	70	75	80	120	160	200	240
Задана реактивна потужність, квар	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,2	25,0	28,0	32,0	35,0
Лінійна напруга у кінці лінії, В	380	380	380	380	380	380	380	660	660	1000
Погонний активний опір, Ом/км	1,94	1,24	0,89	0,62	0,443	0,32	0,258	0,205	0,167	0,123
Погонний індуктивний опір, Ом/км	0,091	0,087	0,083	0,08	0,078	0,064	0,062	0,062	0,061	0,060

Завдання 4.2 Трифазна повітряна лінія електропередач напругою U з алюмінієвими проводами перерізом S живить навантаження, що знаходиться на відстані L_1 , L_2 , L_3 , показаних на рисунку 4.3. Визначити втрату напруги в лінії. Погонні опору лінії $r_{\text{л}}$ і $x_{\text{л}}$, а також $\cos \varphi$ і $\sin \varphi$ наведені в таблиці 4.2.

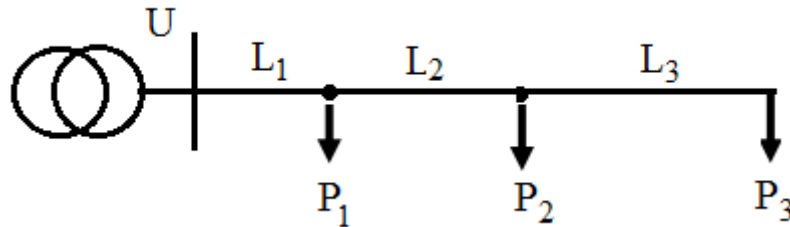


Рисунок 4.3 – Розрахункова схема до задачі 4.2.

Таблиця 4.2 – Варіанти завдань

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Напруга лінії U , кВ	0,4	0,4	0,4	0,66	0,66	0,66	1,0	3,0	6,0	10,0
Площа поперечного перерізу проводу, мм^2	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
Довжина L_1 , км	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12
Довжина L_2 , км	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,05	0,05	0,07	0,05	0,04
Довжина L_3 , км	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,04	0,07
Погонний активний опір, Ом/км	3,14	1,94	1,24	0,89	0,62	0,443	0,326	0,258	0,205	0,167
Погонний індуктивний опір, Ом/км	0,4	0,1	0,091	0,087	0,083	0,08	0,078	0,076	0,074	0,073
$\cos \varphi$	0,80	0,85	0,90	0,95	0,85	0,75	0,65	0,65	0,50	0,55
$\sin \varphi$	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,65

4.3 Контрольні запитання

1. Вкажіть, які норми відхилення напруги від номінального значення допускаються на виводах приймачів електричної енергії.
2. Вкажіть, в яких місцях електричної мережі слід контролювати відхилення напруги від номінального значення.
3. Наведіть формулу для визначення втрат напруги на окремих ділянках електричної мережі.
4. Вкажіть причини відхилення напруги в електричних мережах.
5. Поясніть, що слід розуміти під терміном «Падіння напруги».

6. Поясніть, що слід розуміти під терміном «Втрати напруги».
7. Поясніть, як розрахувати втрати напруги у лініях з двостороннім живленням.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

Вибір перерізів струмопровідних жил кабелів і проводів

Мета заняття: вивчити основні умови вибору перерізів проводів і кабелів для раціональної побудови електричних мереж.

5.1 Теоретичні положення

У «Правилах улаштування електроустановок» вибір перерізів електричних провідників рекомендується проводити за економічною щільністю струму, допустимому нагріву і умовам виникнення корони. В тому випадку, якщо переріз провідника обраний за економічною щільністю не задовольняє іншим умовам, то необхідно обирати більший переріз, який буде задовольняти всі умови. До таких умов слід віднести вибір перерізів провідників за втратою або відхиленням напруги, за механічною міцністю, за термічною стійкістю при струмах КЗ і т.д.

У зв'язку з тим, що спорудження та експлуатація електричних мереж пов'язані з великими витратами, вибір перерізів проводів виконують виходячи з мінімуму приведених витрат на мережу. Переріз проводів, який відповідає мінімальним приведеним витратам, називають економічним перерізом.

Вибір економічного перерізу в [6] рекомендують проводити за економічною щільністю струму в залежності від матеріалу провідника і числа годин використання максимуму навантаження.

$$s_p = \frac{I_p}{J_e}, \quad (5.1)$$

де I_p – розрахунковий струм; J_e – економічна щільність струму.

Значення економічної щільності струму наводяться в [6].

Основною перевагою даного методу визначення перерізу провідникових матеріалів є його простота. Однак, відсутність належного економічного обґрунтування призводить, в ряді випадків, до помилкових результатів.

Для усунення недоліків цього методу в [7] пропонується визначати економічно доцільний переріз за трьома стандартними перерізами проводів або жил кабелів, з яких середнє значення вибрано за мінімальними приведеними витратами. Рівняння для при ведених витрат буде мати вигляд

$$Z = Z_1 + A_1(s - s_1) + B_1(s - s_1)(s - s_2). \quad (5.2)$$

В результаті рішення цього рівняння отримаємо

$$s_3 = \frac{s_1 - s_2}{2} - \frac{A_1}{2B_1}, \quad (5.3)$$

де для першого перерізу $A_1 = \Delta Z_1 / \Delta s_1$, для другого – $A_2 = \Delta Z_2 / \Delta s_2$;

$$\Delta Z_1 = Z_2 - Z_1; \quad \Delta s_1 = s_2 - s_1;$$

$$\Delta Z_2 = Z_3 - Z_2; \quad \Delta s_2 = s_3 - s_2;$$

$$B_1 = \Delta A_1 / \Delta' s_1; \quad (5.4)$$

$$\Delta A_1 = \frac{\Delta Z_2}{\Delta s_2} - \frac{\Delta Z_1}{\Delta s_1};$$

$$\Delta' s_1 = s_3 - s_1;$$

$$B_1 = \frac{\Delta Z_2 \Delta s_1 - \Delta Z_1 \Delta s_2}{\Delta s_1 \cdot \Delta s_2 \cdot \Delta' s_1}.$$

Підставивши значення A_1 і B_1 в рівняння 5.3 отримаємо

$$s_3 = \frac{s_1 - s_2}{2} - \frac{\Delta' s_1}{2\delta}; \quad \delta = \frac{\Delta Z_2}{\Delta Z_1} \cdot \frac{\Delta s_1}{\Delta s_2} - 1 \quad (5.5)$$

Для вибору перерізів струмопровідних жил кабелів за нагріванням спочатку визначають розрахунковий струм, а потім за таблицями [6] вибирають стандартний переріз, який відповідає більшому струму. В даних таблицях наведені перерізи жил кабелів з урахуванням специфічних умов прокладки кабелів. Коли умови прокладки лінії відрізняються від довідкових, слід вводити поправочні коефіцієнти. Допустимий струм буде дорівнювати

$$I_{\text{дон}} = I_{\text{дл.дон}} \cdot K_n, \quad (5.6)$$

де K_n – коефіцієнт, що дорівнює добутку поправочних коефіцієнтів, які враховують відмінність умов роботи провідника від розрахункових.

Струм, що тривало протікає провідником з обраним перерізом не повинен викликати його нагрів вище допустимого.

Під струмом, що довгостроково протікає, розуміється максимально можливий струм за період не менше тридцяти хвилин в нормальному, після аварійному або ремонтному режимах роботи мережі.

Для вибору перерізів жил кабелів за нагріванням струмом короткого замикання рекомендується використовувати формулу, яка встановлює залежність між перерізом провідника, сталим значенням струму КЗ і часом його протікання [7].

$$S_{расч} = \alpha \cdot I_{\infty} \cdot \sqrt{t_n}, \quad (5.7)$$

де α – розрахунковий коефіцієнт, який визначається обмеженням температури нагріву жил кабелю. Значення цього коефіцієнта наведені в таблиці 5.1.

t_n – час проходження струму КЗ. Даний час залежить від уставки захисту, яка має максимальне значення витримки часу.

Таблиця 5.1 – Значення розрахункового коефіцієнта α .

Жили кабелю до 10 кВ	Коефіцієнт α	Температура °С
Мідні	7	250
Алюмінієві	12	250

Кабельні лінії, які захищені плавкими запобіжниками на термічну стійкість до струмів КЗ не перевіряються, тому що час спрацьовування запобіжника незначний (≈ 0.008 с), що не дозволяє кабелю нагрітися до критичної температури.

5.2 Варіанти завдань для самостійної роботи студентів

Завдання 4.1. Визначте переріз сталевалюмінієвих проводів повітряної лінії електропередачі, яка живить три споживачі. Схема лінії показана на рисунку 5.1 Навантаження споживачів (МВ А), і довжини ділянок вказані в таблиці 5.1. Час використання максимального навантаження $T_m = 4500$ год.

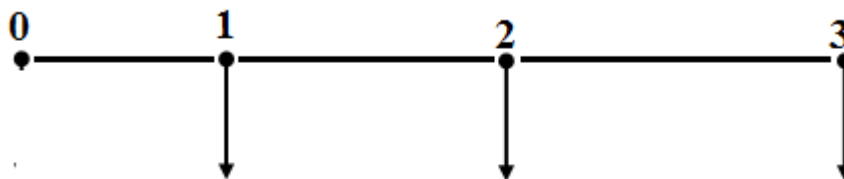


Рисунок 5.1 – Схема лінії

Таблиця 5.1 – Варіанти завдань

Номер варіанта	Навантаження споживачів, МВ·А			Довжини ділянок, км		
	1	2	3	01	12	23
1	10 +j7	8+j6	10+j8	15	10	20
2	10+j6	8+j5	10+j7	5	10	15
3	10+j5	8+j4	10+j6	4	9	14
4	10+j4	8+j3	10+j5	3	8	13
5	10+j3	8+j2	10+j4	2	7	12
6	11+j8	9+j7	11+j9	14	9	19
7	12+j7	10+j8	12+j10	14	10	20
8	13+j6	11+j9	13+j11	14	11	21
9	14+j5	12+j10	14+j12	15	12	22
10	15+j4	13+j11	15+j13	16	12	21
11	7 +j3	9+j6	14+j9	15	11	20
12	8+j4	8+j5	13+j8	14	11	19
13	9+j5	7+j4	12+j7	13	10	18
14	10+j6	6+j3	11+j6	12	10	17
15	11+j7	5+j2	10+j5	11	10	16

5.3 Контрольні запитання

1. Вкажіть за якими параметрами слід вибирати переріз провідникових матеріалів.
2. Поясніть, що таке «економічний переріз».
3. Наведіть формулу для визначення «економічного перерізу».
4. Поясніть, як визначається переріз провідникових матеріалів за допустимим нагрівом.
5. Поясніть, що розуміється під струмом, що тривало протікає.

Література: [6,7.]

Таблиця А1 – Класи гнучкості

№ п/п	Переріз, мм ²	Класи гнучкості					
		Стационарна прокладка		Нестационарна прокладка			
		1	2	3	4	5	6
1	10	1	7	19	49	80	324
2	16	1	7	19	49	224	513
3	25	1	7	19	49	196	783
4	35	1	7	19	98	189	1107
5	50	7	19	27	144	266	402
6	70	7	19	37	189	266	999
7	95	7	19	37	189	361	1332
8	120	19	37	61	266	608	1702
9	150	19	37	61	266	756	2109
10	185	37	37	91	330	925	2590
11	240	37	61	-	420	1221	3360
12	300	37	61	-	518	1525	1270
13	400	37	61	-	672	2013	-
14	500	37	61	-	854	1769	-
15	625	61	127	-	-	-	-
16	800	61	127	-	-	-	-
17	1000	127	127	-	-	-	-

Таблиця А2 – Формули для розрахунку діаметра жили, числа дротів і коефіцієнта заповнення

№ п/п	Система скрутки	Діаметр жили, D	Число дротів в жилі, N	Коефіцієнт заповнення, f
1	1+6+12+	$(2n-1)d$	$3n(n-1)+1$	$\frac{[3n(n-1)+1]}{[(2n-1)]^2}$
2	2+8+14+	$2n \cdot d$	$(3n-1)n$	$\frac{[(3n-1)n]}{4n^2}$
3	3+9+15+	$(2n+0,155)d$	$3n^2$	$\frac{3n^2}{(2n+0,155)^2}$
4	4+10+16+	$(2n+0,41)d$	$n(3n+1)$	$\frac{n(3n+1)}{(2n+0,41)^2}$
5	5+11+17+	$(2n+0,71)d$	$n(3n+2)$	$\frac{n(3n+2)}{(2n+0,71)^2}$

Примітки: n – число повітів, d – діаметр дроту.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / [В. В. Ершевич, А. Н. Зейлигер, Г. А. Илларионов и др.] Под ред. С. С. Рокотяна и И. М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 198 с.
2. Лыкин А. В. Электроэнергетические системы и сети. Методические указания и упражнения для самостоятельной работы / А. В. Лыкин, Ю. М. Сидоркин. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. – 67 с.
3. Ковригин Л. А. Основы кабельной техники: учеб. пособие / Л. А. Ковригин. – Пермь : Изд-во ПГТУ, 2006. – 94 с.
4. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях / [И. В. Жежеленко, М. Л. Рабинович, В. М. Божко]. – Киев : Техніка, 1981. – 160 с.
5. Кужеков С. Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2010. – 492 с.
6. Правила устройства электроустановок / Харьков : Издательство Индустрия. 2012. – 768 с.
7. Фёдоров А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Фёдоров, В. В. Каменева. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для самостійної роботи
та виконання розрахунково-графічних
і практичних завдань
з курсу

«КАБЕЛЬНІ ТА ПОВІТРЯНІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ»

*(для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання бакалаврів напряму
підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології
і слухачів другої вищої освіти спеціальності
7.05070103 – Електротехнічні системи електроспоживання)*

Укладачі **Дьяков Євген Дмитрович,**
Воропай Валентина Григорівна

Відповідальний за випуск *В. М. Охріменко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2016, поз. 218 М

Підп. до друку 11.11.2016 р.
Друк на ризографі
Тираж 50 пр.

Формат 60×84/16
Ум. друк. арк. 2,2
Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.